

6. Судовые двигатели внутреннего сгорания.

6.1 Историческая справка

В 1807 г. французо-швейцарский изобретатель [Франсуа Исаак де Риваз](#) (François Isaac de Rivaz) построил первый поршневой двигатель, называемый часто [двигателем де Риваса](#)^[en]. Двигатель работал на газообразном водороде, имея элементы конструкции, с тех пор вошедшие в последующие прототипы ДВС: шатунно-поршневую группу и искровое зажигание. Первый практически пригодный двухтактный газовый ДВС был сконструирован французским механиком [Этьеном Ленуаром](#) (1822—1900) в 1860 году. Мощность составляла 8,8 **кВт** (11,97 **л. с.**). Двигатель представлял собой одноцилиндровую горизонтальную машину двойного действия, работавшую на смеси воздуха и [свещного газа](#) с электрическим искровым зажиганием от постороннего источника (горючие газы, в основном метан и водород).

Конструкция имела все основные черты будущих автомобильных двигателей: две свечи зажигания, цилиндр с поршнем двустороннего действия, двухтактный рабочий цикл. Мощность составляла 8,8 кВт. И всё же конструкция Э. Ленуара была лишь прообразом реального двигателя, она требовала серьёзного усовершенствования. Достаточно сказать, что её коэффициент полезного действия составлял около 0,04, т. е. лишь 4 % теплоты сгоревшего газа тратилось на полезную работу, а остальные 96 % уходили с отработанными газами, нагревали корпус и т. п. Ненадёжно работали свечи и выпускной золотник, для охлаждения двигателя требовалось очень много воды (около 120 м³ в час). Несмотря на недостатки, двигатель Ленуара получил некоторое распространение. Использовался как лодочный двигатель.

В 1862 г. французский инженер Альфонс Бо де Роша (1815—1891) предложил идею четырёхтактного двигателя: обязательным моментом работы последнего становилось предварительное сжатие рабочей смеси газа с воздухом. Однако осуществить свою идею Бо де Роша не сумел.

Такой двигатель создал в 1876 г. служащий из Кёльна (Германия) Николаус Август Отто (1832—1891). Над конструкцией более совершенного четырёхтактного газового двигателя внутреннего сгорания, изобретатель напряжённо трудился 15 лет и добился более высокого КПД, чем у существовавших тогда паровых машин. Двухтактный атмосферный двигатель внутреннего сгорания имел вертикальное расположение цилиндра, зажигание открытым пламенем и КПД до 15 %. Вытеснил двигатель Ленуара.

Двигатель Отто, работавший на свечном газе со сжатием по четырёхтактному циклу. При усовершенствовании двигателя русский изобретатель Огнеслав Степанович Костович в 1884 году сконструировал четырёхтактный бензиновый двигатель, в котором горючая смесь, состоящая из воздуха, паров капелек бензина, готовилась в особом устройстве - карбюраторе, смесь засасывалась в цилиндр, сжималась и воспламенялась от искры. Этот двигатель стал родоначальником двигателей с внешним смесеобразованием. 1893 году немецкий инженер Рудольф Дизель опубликовал сведения об изобретённом им тепловом двигателе и после внесения ряда конструктивных изменений в 1897 году был построен двигатель с воспламенением от сжатия.

В 1898—1899, купив патент у Р. Дизеля, на заводе [Эммануила Людвиговича Нобеля](#) в Петербурге [Густав Васильевич Тринклер](#) усовершенствовал этот двигатель, используя бескомпрессорное распыливание топлива, что позволило применить в качестве топлива нефть. В результате бескомпрессорный [двигатель внутреннего сгорания высокого сжатия с самовоспламенением](#) стал наиболее экономичным стационарным [тепловым двигателем](#).

В 1899 в России, на заводе «Людвиг Нобель» построили первый дизель и развернули массовое производство дизелей. Этот первый дизель имел мощность 20 **л. с.**, один цилиндр диаметром 260 мм, ход [поршня](#) 410 мм и частоту вращения 180 **об/мин**. В Европе дизельный двигатель, усовершенствованный [Густавом Васильевичем Тринклером](#), получил название «русский дизель» или «Тринклер-мотор». На [всемирной выставке в Париже в 1900](#) двигатель Дизеля получил главный приз. В 1902 [Коломенский завод](#) купил у [Эммануила Людвиговича Нобеля](#) лицензию на производство дизелей и вскоре наладил массовое производство.

Первый в мире теплоход — судно с двигателем внутреннего сгорания был построен в России в 1903 г. Это была нефтеналивная трехвинтовая баржа, на которой были установлены три дизеля мощностью 88 кВт каждый при частоте вращения 240 мин⁻¹ с электропередачей мощности гребным винтам.

В настоящее время двигатели внутреннего сгорания на современном этапе являются самым распространенным типом тепловых двигателей. В ряду двигателей внутреннего сгорания дизели занимают ведущее место. Это объясняется тем, что по сравнению с другими судовыми энергетическими установками дизельные энергетические установки имеют ряд преимуществ.

6.2 Преимущества ДВС и предъявляемые к ним требования.

По сравнению с другими типами тепловых двигателей ДВС обладает существенными преимуществами:

1. Все современные судовые ДВС выполняются с наддувом. Это обеспечивает более высокий массовый заряд воздуха в цилиндрах, что даёт возможность увеличить цикловую подачу топлива, а следовательно, получить большую эффективную мощность на выходном фланце коленчатого вала двигателя. Процесс преобразования тепловой энергии в механическую работу внутри цилиндра при высоких параметрах рабочего тела уменьшает тепловые потери рабочего цикла, что приводит к высокому индикаторному КПД двигателя и высокой экономичности по расходу топлива. Для получения мощности в 1 л.с. в час необходимо сжечь топлива:

в паровой турбине – 190...220 г;

в газовой турбине – 180...250 г;

в двигателе внутреннего сгорания – 130...160 г;

соответственно, т.к. экономичность тепловой машины оценивается коэффициентом полезного действия, представляющим собой отношение тепла используемого на совершение полезной работы ко всему теплу полученного в машине, КПД составляет:

паровых турбин – 25...32%;

газовых турбин – 28...30%;

мощных малооборотных двигателей – 40...52%;

четырёхтактных дизелей – 35...40 %;

2. Горячий источник теплоты находится внутри самого двигателя, что приводит его к компактности;

3. Дизель расходует меньше воды по сравнению, например с паровой установкой, которой необходимо пресной воды столько-же, сколько и топлива;

4. Для повышения экономичности дизельной установки на теплоходах устанавливают утилизационные котлы, работающие на тепле отработанных газов двигателя;

5. Дизель требует мало времени для подготовки его к пуску, всегда готов к манёврам во время хода;

6. На судах с дизельной установкой лучше обеспечивается техника безопасности, т.к. меньше трубопроводов высоких давлений и температур. Температура воздуха в машинном отделении ниже, чем на судах с паросиловыми установками, что обеспечивает лучшие условия работы и меньшую утомляемость обслуживающего персонала;

7. Дизельные установки, при правильной эксплуатации и уходе, надёжны и долговечны.

К недостаткам дизелей следует отнести повышенный шум при работе, а также необходимость использовать дорогие сорта масел, топлива и высококвалифицированный обслуживающий персонал.

Для обеспечения безопасности плавания и маневренности судна судовой двигатель внутреннего сгорания должен отвечать следующим требованиям:

1. Надёжно работать в любых погодных условиях;

2. Иметь большой моторесурс, большое число часов работы между очередными осмотрами и ремонтами;

3. Обеспечивать быстрый пуск и реверсирование;

4. Устойчиво работать на всех нагрузках и оборотах, иметь как можно меньшее устойчивое число оборотов для обеспечения самого малого хода судна при манёврах;

5. Быть приспособленным работать на тяжёлых сортах топлива и иметь малый удельный расход топлива;

6. Обеспечивать безопасность обслуживания: все движущие части двигателя должны быть ограждены или закрыты, а горячие детали изолированные.

6.3 Устройство двигателя. Понятия и определения.

Поршневым двигателем внутреннего сгорания (ДВС) называют такую тепловую машину, в которой теплота подводится к рабочему телу вследствие сжигания топлива в камере сгорания, т.е. химическая энергия топлива превращается в механическую энергию непосредственно в цилиндре. Рабочим телом на первом этапе является воздух или смесь воздух-топливо, а на втором продукты сгорания топлива – газы, которые расширяясь, совершают работу.

Двигатель состоит из неподвижных деталей, деталей движения, деталей распределения и систем, обеспечивающих его работу, а также вспомогательных устройств регулировки и управления.

Неподвижные детали.

Фундаментальная рама – основание двигателя, крепится к судовому фундаменту. Обычно литые для малых дизелей (до 500 кВт), сварные или составные – для больших. На фундаментальной раме монтируются рамовые подшипники, на них укладывают коленчатый вал.

Станина – устанавливают на фундаментальную раму. Обычно литая, из чугуна. Часто изготавливают блоками. Конструктивно может включать в себя блок рубашки цилиндровой втулки. Является основанием для монтажа основных и вспомогательных устройств (насосов, компрессоров, цепных и шестеренчатых передач).

Цилиндр – состоит из наружной рубашки и внутренней цилиндровой втулки. Втулку запрессовывают в блок рубашки цилиндра, где предусмотрены полости для охлаждающей воды. Втулки обычно изготавливают из чугуна, легированного хромом и никелем.

Цилиндр, станина и фундаментальная рама скрепляются между собой *анкерными связями*, представляющие собой длинные болты. При этом блок цилиндров и станина работает только на сжатие, что позволяет разгрузить их от растягивающих усилий.

Крышка цилиндра – служит для плотного закрытия цилиндровой втулки. Представляет собой сложную конструкцию с внутренними полостями. Крышка испытывает большие механические и тепловые напряжения. Изготавливается из отдельных марок чугуна и стали с высоким пределом прочности и незначительным коэффициентом линейного расширения.

Подвижные детали.

Поршень – воспринимает силу действия газов и передаёт её через детали движения на коленчатый вал. Работает в тяжёлых динамических и температурных условиях. Объём цилиндра между верхним доньшком поршня, крышкой цилиндра и рабочей втулкой при крайнем верхнем положении поршня составляет *камеру сгорания топлива*. Поршень состоит из головки и направляющей части (юбки). В тяжёлом малооборотном двигателе поршень выполнен составным: головка из жаропрочной стали, юбка – из чугуна или алюминия. Поршни малооборотных и часто среднеоборотных дизелей охлаждаются маслом.

Поршневой шток – соединяет поршень с кривокопфом, служит для передачи кривошипно-шатунному механизму (КШМ) усилия от давления газов на поршень. Выполнен из углеродистой стали.

Кривокопф – соединяет шток с шатуном посредством головных подшипников и передаёт силу, направленную перпендикулярно оси цилиндра через ползуны на параллели. Обеспечивает строго вертикальное перемещение поршня.

Шатун – преобразует возвратно-поступательное движение поршня во вращательное коленчатого вала, соединяется с мотылевой шейкой коленвала посредством мотылёвого подшипника. Отковывается из углеродистой или легированной стали.

Коленчатый вал – одна из наиболее ответственных, дорогих и сложных деталей. Именно с фланца коленчатого вала снимается эффективная мощность, развиваемая дизелем. Крутящий момент через линию валопровода передаётся источнику энергии и вал подвергается значительным изгибающим и скручивающим усилиям. Коленвал мощных малооборотных судовых дизелей изготовлен из наиболее качественной стали и чугуна и рассчитан на работу без капитального ремонта 70 – 90 тыс. часов работы – практически на всё время работы судна.

Маховик – установлен на конце коленчатого вала, имеющий расчётную массу для поддержания степени неравномерности вращения коленвала и линии валопровода, аккумулирует избыточную энергию во время рабочего хода поршней и отдаёт её в систему движения при других вспомогательных ходах поршня.

Детали распределения.

Распределительный вал, приводимый во вращение от коленвала через шестерёнчатую или цепную передачу, посредством насаженных на нем кулачковых шайб обеспечивает открытие впускных и выпускных клапанов, подачу топлива в цилиндры на передний и задний ход двигателя. Современные дизеля изготавливаются без распределительного вала, его полностью заменяет электронно-гидравлическая система, что уменьшает потери энергии на привод распредвала и габариты двигателя.

Системы

Для обеспечения рабочего процесса дизеля служат специальные системы:

топливная – подготовка топлива и подача его в цилиндры в необходимой дозировке;

масляная – для подачи смазочного масла на трущиеся поверхности деталей движения и охлаждения этих деталей;

охлаждения – для отвода избытка теплоты от деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ), других деталей и узлов;

реверсивная – для измерения направления вращения коленчатого вала при реверсировании двигателя.

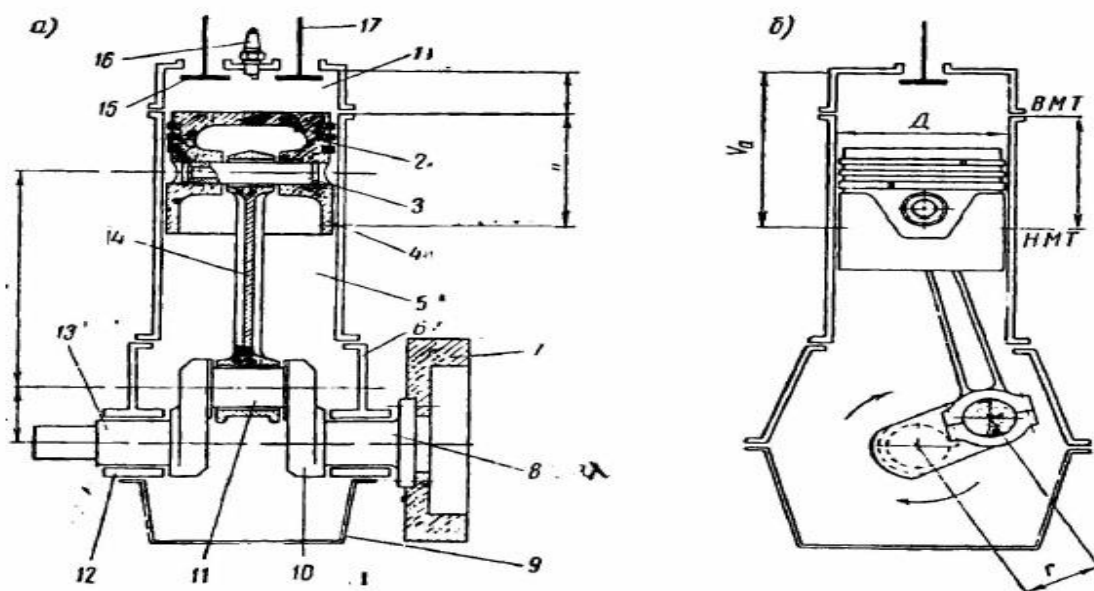


Рис. 6.1 Устройство дизеля.

1-крышка цилиндра с камерой сгорания; 2-головка поршня; 3-поршневой палец; 4-юбка поршня; 5-цилиндровая втулка; 6-станина; 7-маховик; 8-коленчатый вал; 9-фундаментальная рама; 10-щека кривошипа; 11- шейка кривошипа с мотылевым подшипником ; 12-рамовый подшипник; 13-рамовая шейка; 14-шатун; 15-впускной клапан; 16-форсунка; 17-выпускной клапан.

В ДВС химическая энергия топлива в результате сгорания превращается в тепловую энергию, которая совершает механическую работу. Газы сгораемого топлива, расширяясь, под высоким давлением перемещают поршень, который совершает прямолинейное поступательное движение в каждом из цилиндров двигателя. С помощью кривошипно-шатунного механизма, движение поршня преобразуется во вращательное движение коленчатого вала. При вращении вала, поршень совершает возвратно-поступательное движение и занимает верхнее и нижнее крайние положения, за один оборот коленчатого вала поршень дважды будет находиться в таких положениях. Эти крайние положения называют мертвыми точками, так как усилие, приложенное к поршню в этот момент, не может вызвать вращательного движения коленчатого вала. Положение поршня в цилиндре, при котором расстояние от поршня до оси коленчатого вала является наибольшим, называется *верхней мертвой точкой* (ВМТ). *Нижней мертвой точкой* (НМТ) называют такое положение поршня в цилиндре, при котором расстояние от поршня до оси коленчатого вала наименьшее.

Основными геометрическими размерами цилиндра двигателя является диаметр поршня D и ход поршня S – это расстояние между мертвыми точками. Каждому ходу поршня соответствует поворот коленчатого вала на угол $\varphi = 180^\circ$.

Радиус кривошипа (мотыля) r – расстояние между осями рамовой и кривошипной шеек коленвала, следовательно, ход поршня $S = 2r$.

Объём камеры сжатия V_C – объём полости цилиндра над поршнем при его положении в ВМТ.

Рабочим объёмом цилиндра V_S – объём, который описывает поршень за один ход (расстояние между мертвыми точками): $V_S = \pi D^2 S / 4$.

полным объёмом цилиндра V_{Π} – называют объём цилиндра над поршнем при его положении в НМТ: $V_{\Pi} = V_C + V_S$.

Комплекс последовательных процессов, повторяющихся в каждом цилиндре при работе двигателя, называют *рабочим циклом*, а часть цикла, происходящего на протяжении одного хода поршня – *такты*.

Дизели, у которых рабочий цикл совершается за один оборот коленчатого вала т.е. за два такта, называется *двухтактными* а дизели, у которых рабочий цикл совершается за два оборота коленчатого вала т.е. за четыре такта, называется *четырёхтактными*.

У двухтактных дизелей, один рабочий ход поршня приходится на каждый второй, а в четырёхтактном дизеле, каждый четвёртый ход поршня является рабочим. Нерабочие ходы поршня являются вспомогательными и совершаются за счёт кинетической энергии и рабочих ходов других цилиндров двигателя.

6.4 Схемы работы ДВС.

Двигатели, в которых рабочий цикл совершается за четыре хода поршня или за два оборота коленчатого вала, называются четырёхтактными, а в которых рабочий процесс совершается за два хода поршня или за один поворот коленчатого вала, – двухтактными. Такт – это процесс (часть рабочего цикла) происходящий в цилиндре в течение одного хода поршня. Четыре последовательных такта (наполнение, сжатие, рабочий ход и выпуск) составляют цикл двигателя.

Рассмотрим принцип работы двух и четырёхтактных дизелей с неразделёнными камерами, простого действия, являющиеся основными и самыми распространёнными типами двигателей на судах мирового флота. Пояснить работу дизеля удобно по индикаторным диаграммам в координатах $p - V$, представляющие собой схемы изменения давления в цилиндре в зависимости от его объёма при перемещении поршня.

6.4.1 Четырёхтактный ДВС.

На рис.6.2 показана схема работы четырёхтактного дизеля без наддува.

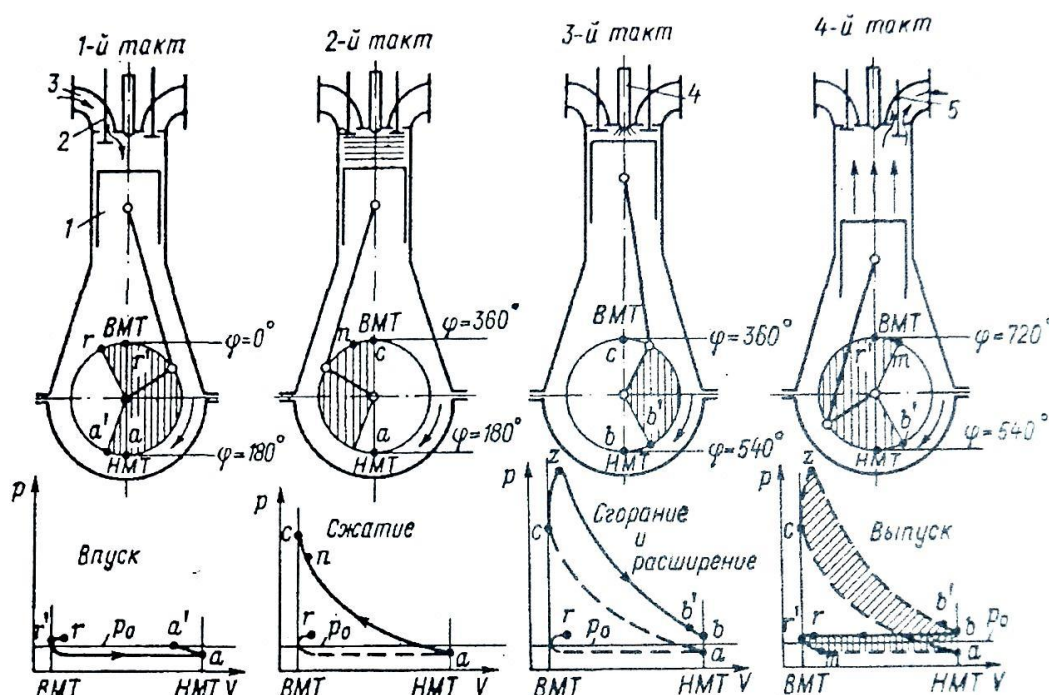


Рис. 6.2 Схема работы четырёхтактного двигателя.

1-й такт – на п о л н е н и е. Поршень 1 движется от ВМТ к НМТ. Через впускной патрубок 3 и расположенный в крышке впускной клапан 2 в цилиндр поступает воздух, так как давление в цилиндре из-за увеличения объёма становится ниже давления воздуха перед впускным патрубком p_o . Впускной клапан открывается несколько раньше ВМТ (точка r), т.е. с углом опережения $\varphi_{r-r} = 20...50^\circ$ до ВМТ, что обеспечивает максимальное наполнение цилиндра воздухом и закрывается только после НМТ (точка a'), с углом запаздывания $\varphi_{a-a} = 20...50^\circ$. Углы опережения φ_{r-r} и запаздывания φ_{a-a} определяют опытным путём. Угол поворота коленвала (ПКВ), что составляет $220...280^\circ$ всему процессу наполнения (см. круговую диаграмму, рис. 6.3). В дизелях с наддувом, во время 1-го такта свежий заряд воздуха поступает в цилиндр при повышенном давлении и линия наполнения (1-ый такт) проходит выше линии выпуска (4-ый такт). На индикаторной диаграмме процессу впуска соответствует линия $r - a'$. В конце процесса наполнения температура зарядного воздуха $T_a = 40...130^\circ\text{C}$, а давление будет равно атмосферному: $p_a = p_o$ (с наддувом p_a может достигать 400 кПа или 4 кг/см²).

2-й такт – с ж а т и е. Поршень движется от НМТ к ВМТ. С момента закрытия впускного клапана поступивший в цилиндр свежий заряд воздуха начинает сжиматься, в результате чего повышается его температура до уровня, необходимого для самовоспламенения топлива – порядка $T_c = 500...700^\circ\text{C}$, а давление конца сжатия $p_c = 8000$ кПа или 80 кг/см².

Топливо под высоким давлением впрыскивается в цилиндр форсункой 4 с некоторым опережением до ВМТ (точка n). Опережение впрыска необходимо для подготовки его к самовоспламенению, когда поршень достигнет ВМТ и созданию наиболее благоприятные условия для работы дизеля с высокой экономичностью. Угол φ_{n-c} на номинальном режиме равен $1...9^\circ$ в МОД и $8...16^\circ$ в СОД до ВМТ. Момент воспламенения (точка c) на рисунке указан в ВМТ, однако он может быть несколько смещён, т.е. воспламенение топлива может начаться раньше или позднее ВМТ.

Процесс сжатия на индикаторной диаграмме изображён линией $a - c$.

3-й такт – г о р е н и е и р а с ш и р е н и е. Поршень движется от НМТ к ВМТ. Поступившее в цилиндр топливо смешивается с горячим воздухом, воспламеняется и сгорает, в результате чего резко повышается давление газов (точка z) – участок диаграммы $c-z$, а затем начинается их расширение. В результате сгорания давление в цилиндре $p_z = 8...16$ МПа (80...160 кг/см²), а температура $T_z = 1700^\circ\text{C}$. Поршень движется от ВМТ к НМТ. Газы, действуя на поршень, совершают полезную работу, которая через кривошипно-шатунный механизм (КШМ) передаётся потребителю энергии. Процесс расширения заканчивается в момент начала открытия выпускного клапана 5 (точка b'), которое происходит с опережением $\varphi_{b-b} = 20...40^\circ$. В конце расширения снижается давление газов $p_b = 8000$ кПа и температура $T_b = 600...800^\circ\text{C}$.

4-й такт – в ы п у с к. Поршень движется от НМТ к ВМТ, выталкивая отработавшие газы из цилиндра. Давление газов несколько выше давления после выпускного клапана. Чтобы полностью удалить отработавшие газы из цилиндра, выпускной клапан закрывается после прохода поршнем ВМТ, угол запаздывания закрытия $\varphi_{r-m} = 10...60^\circ$ ПКВ. Поэтому в течении времени, соответствующему углу $\varphi_{r-m} = 30...110^\circ$ ПКВ, одновременно открыты впускной и выпускной клапаны. Это улучшает процесс очистки камеры сгорания от отработавших газов, особенно в дизелях с наддувом. Таким образом, выпускной клапан открыт в период, соответствующий $210...280^\circ$ ПКВ.

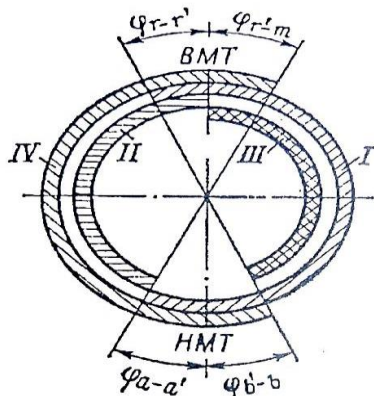


Рис.6.3. Круговая диаграмма фаз газораспределения четырёхтактного дизеля.
I – наполнение; II – сжатие; III – горение и расширение; IV – выпуск.

Полезная работа, полученная за период 2-го и 3-го тактов, определяется площадью $aczb$ (рис.5.3. площадь со штриховкой, 4-й такт). Во время 1-го такта двигатель затрачивает работу (с учётом атмосферного давления p_o под поршнем), равную площади над кривой $r'ma$ до горизонтальной линии, соответствующей давлению p_o . За время 4-го такта двигатель затрачивает работу на выталкивание отработавших газов, равную площади под кривой brr' до горизонтальной линии p_o . Следовательно, в 4-х тактном двигателе без наддува, работа так называемых “насосных” ходов, т.е. 1-го и 4-го тактов является отрицательной и должна быть вычтена из полезной работы, равной разнице работ в период 3-го и 2-го тактов. В реальных условиях работа насосных ходов очень мала и эту работу условно относят к механическим потерям. В дизелях с наддувом, если давление надвучного воздуха выше среднего давления газов в цилиндре в период выталкивания их поршнем, работа насосных ходов становится положительной.

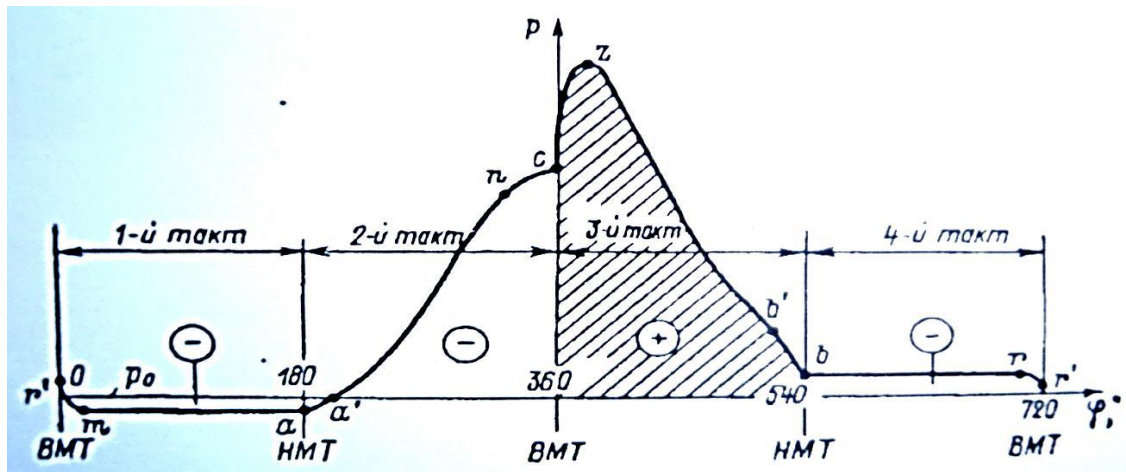


Рис. 6.4 Развёрнутая индикаторная диаграмма четырёхтактного дизеля.

6.4.2 Двухтактный ДВС.

В двухтактных ДВС процессы газообмена происходят только в период, когда поршень находится в районе НМТ, при открытых органах газообмена. Очистка цилиндра от отработавших газов осуществляется не поршнем а предварительно сжатым воздухом. Выпуск газов из цилиндра происходит через клапан или выпускные окна. Впуск свежего заряда осуществляется через продувочные окна.

Рассмотрим схему работы 2-ух тактного ДВС с контурной продувкой (рис.5.6):

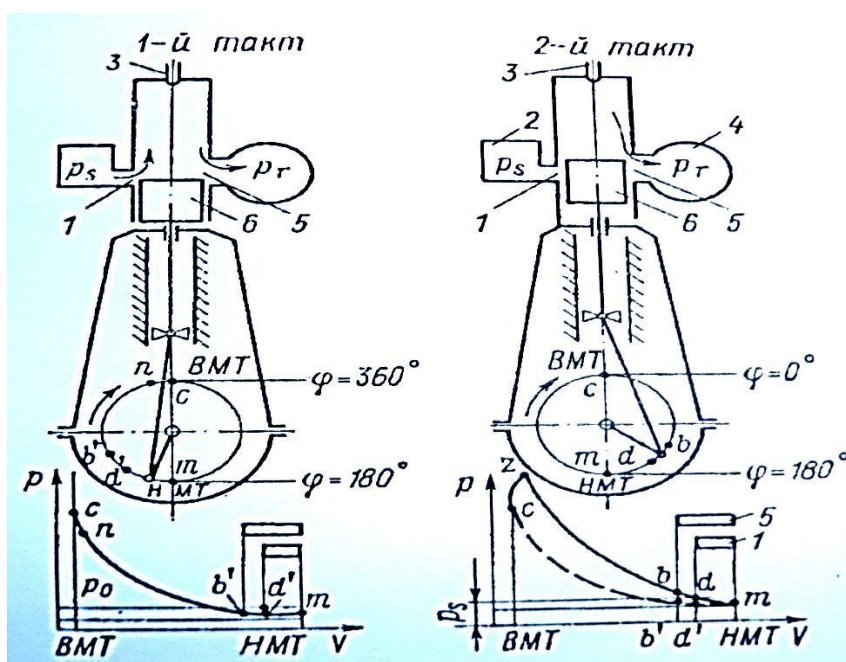


Рис. 6.5 Схема работы двухтактного дизеля.

1-й такт – ход поршня от НМТ (точка m) до ВМТ. Поршень 6 перекрывает продувочные окна 1 (точка d'), прекращая тем самым подачу свежего заряда в цилиндр, затем поршень перекрывает выпускные окна 5 (точка b'), после чего начинается процесс сжатия воздуха в цилиндре до положения поршня в ВМТ (точка c). Точка n соответствует моменту подачи топлива форсункой 3. Следовательно, в течение 1-го такта в цилиндре заканчивается выпуск, продувка и наполнение цилиндра, после происходит сжатие свежего заряда и подача топлива.

2-й такт – ход поршня от ВМТ до НМТ. В районе ВМТ происходит воспламенение топлива и давление газов достигает максимального значения (точка z) и начинается их расширение. Процесс расширения газов заканчивается в момент начала открытия поршнем выпускных окон 5 (точка b) и начинается выпуск отработавших газов за счёт перепада давления газа p_z в цилиндре и выпускном коллекторе 4. Затем поршень открывает продувочные окна 1 (точка d) и происходит продувка и наполнение цилиндра свежим зарядом воздуха. Продувка начнётся только после того, как давление газов в цилиндре станет ниже давления воздуха p_n в ресивере 2. Следовательно, в течение 2-го такта в цилиндре происходит горение топлива, расширение газов, выпуск отработавших газов, продувка и наполнение свежим зарядом. Во время этого такта осуществляется рабочий ход, обеспечивающий полезную работу.

Индикаторная диаграмма (рис.5.7) одинакова как для дизеля без наддува, так и для дизеля с наддувом. Полезная работа цикла определяется площадью диаграммы $m d' b' c z b d m$. Работа газов в цилиндре положительна в период 2-го такта и отрицательна во время 1-го такта.

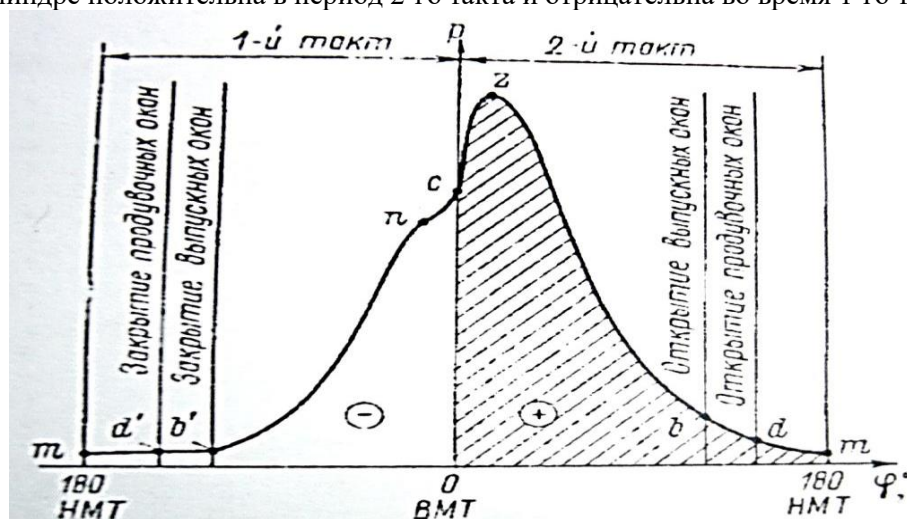


Рис.6.6 Развёрнутая индикаторная диаграмма двухтактного дизеля

Круговая диаграмма (рис.6.7) фаз газораспределения зависит от схемы газообмена. Фазы газораспределения через окна всегда симметричны относительно НМТ, а через клапан этой симметрии нет. Открытие продувочных окон обычно происходит за $40...65^\circ$ до НМТ, выпускных окон - за $60...70^\circ$ до НМТ. Выпускной клапан открывается при угле $70...95^\circ$ до НМТ, а закрывается при угле $55...80^\circ$ после НМТ.

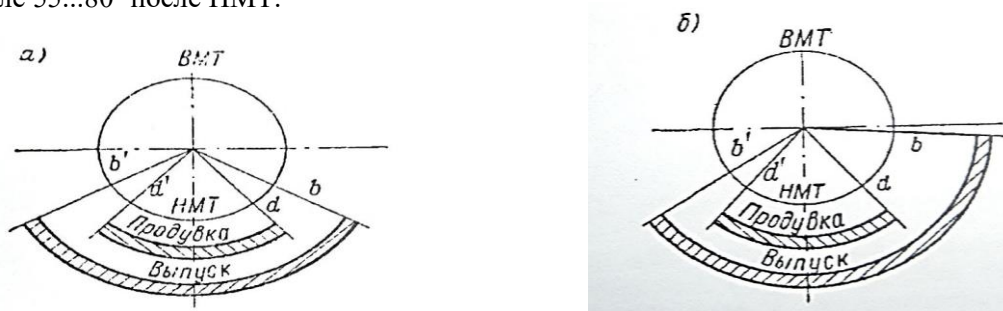


Рис.6.7 Круговые диаграммы фаз газораспределения двухтактных дизелей: а) с петлевой продувкой; б) с прямоточно-клапанной продувкой.

6.5 Термический коэффициент полезного действия двигателя.

Рабочий цикл любого поршневого двигателя внутреннего сгорания может быть осуществлен по одной из двух схем, изображенных на рис. 6.8.

По схеме, изображенной на рис. 6.8а, рабочий цикл осуществляется следующим образом. Топливо и воздух в определенных соотношениях перемешиваются вне цилиндра двигателя и образуют горючую смесь. Полученная смесь поступает в цилиндр (впуск), после чего она подвергается сжатию. Сжатие смеси, как будет показано ниже, необходимо для увеличения работы за цикл, так как при этом расширяются температурные пределы, в которых протекает рабочий процесс. Предварительное сжатие создает также лучшие условия для сгорания смеси воздуха с топливом.

Во время впуска и сжатия смеси в цилиндре происходит дополнительное перемешивание топлива с воздухом. Подготовленная горючая смесь воспламеняется в цилиндре при помощи электрической искры. Вследствие быстрого сгорания смеси в цилиндре резко повышается температура и, следовательно, давление, под воздействием которого происходит перемещение поршня от ВМТ к НМТ. В процессе расширения нагретые до высокой температуры газы совершают полезную работу. Давление, а вместе с ним и температура газов в цилиндре при этом понижаются. После расширения следует очистка цилиндра от продуктов сгорания (выпуск), и рабочий цикл повторяется.

В рассмотренной схеме подготовка смеси воздуха с топливом, т. е. процесс смесеобразования, происходит в основном вне цилиндра, и наполнение цилиндра производится готовой горючей смесью, поэтому двигатели, работающие по этой схеме, называются двигателями с *внешним смесеобразованием*. К числу таких двигателей относятся карбюраторные двигатели, работающие на бензине, газовые двигатели, а также двигатели с впрыском топлива во впускной трубопровод, т. е. двигатели, в которых применяется топливо, легко испаряющееся и хорошо перемешивающееся с воздухом при обычных условиях.

Воздух и топливо	Воздух
смесеобразование	Впуск
впуск	Сжатие и топливо
сжатие	Смесеобразование, воспламенение и сгорание
Воспламенение и сгорание	Расширение
расширение	Выпуск
выпуск	

а)

б)

Рис. 6.8 Схема рабочего цикла двигателей:

а—с внешним смесеобразованием (карбюраторный); б—с внутренним смесеобразованием (дизельный).

Сжатие смеси в цилиндре у двигателей с внешним смесеобразованием должно быть таким, чтобы давление и температура в конце сжатия не достигали значений, при которых могли бы произойти преждевременная вспышка или слишком быстрое (детонационное) сгорание.

Изображение изменения состояния газа в цилиндре за цикл (наполнение, сжатие, рабочий ход и выпуск) на pV —диаграмме называется индикаторной диаграммой двигателя. На экономичность двигателя большое влияние оказывает степень сжатия ϵ .

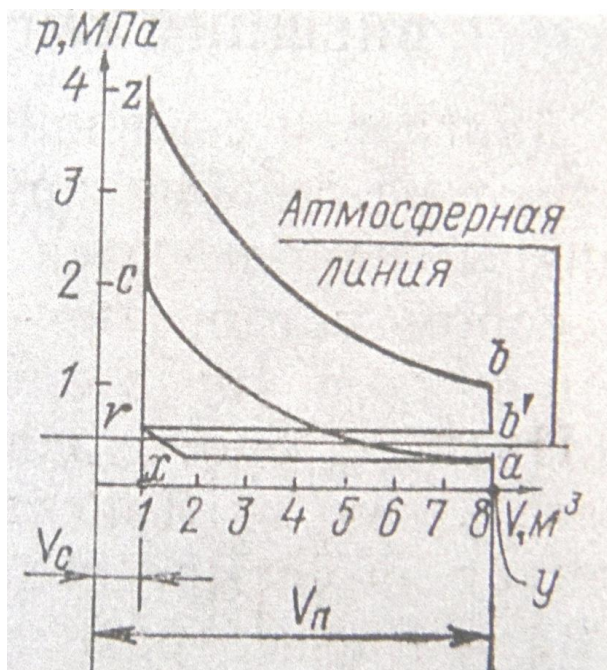


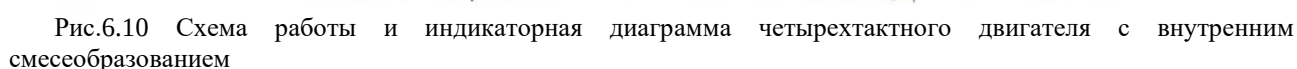
Рис. 6.9 Теоретическая индикаторная диаграмма четырехтактного двигателя с внешним смесеобразованием.

Степенью сжатия называется отношение полного объема цилиндра к объему камеры сжатия:

$$\varepsilon = V_{\text{п}}/V_{\text{с}} \quad \text{В нашем примере } \varepsilon = V_{\text{п}}/V_{\text{с}} = 8/1 = 8$$

Степень сжатия показывает, во сколько раз объем свежего заряда уменьшается в процессе сжатия. Теоретическими исследованиями доказано, что термический КПД двигателя растет с увеличением степени сжатия. Но в двигателях с внешним смесеобразованием нельзя увеличивать степень сжатия выше 9, так как из-за сильного повышения температуры горючая смесь за счет сжатия может преждевременно самовоспламениться. Поэтому КПД карбюраторных двигателей не превышает 25...30%. Эти двигатели применяются на самолетах, легковых автомобилях, мотоциклах и т.д.

Дизели отличаются от карбюраторных двигателей тем, что воздух и топливо раздельно поступает в цилиндр, где и происходит процесс образования рабочей смеси. В дизелях (рис.5.2) во время такта наполнения в цилиндр засасывается атмосферный воздух (линия г - а), который за такт сжатия сильно сжимается (линия а - с). В строго определенный момент (в конце сжатия в точке Т) топливным насосом 1 через форсунку 2 в цилиндр впрыскивается топливо. Топливовоздушная смесь, образующаяся в процессе впрыска, получается неоднородной, вследствие чего полное сгорание топлива возможно лишь при значительном избытке воздуха. В результате более высокой степени сжатия, допустимой при работе двигателя по данной схеме, обеспечивается и более высокий КПД. После сгорания топлива следует процесс расширения и очистка цилиндра от продуктов сгорания (выпуск). Таким образом, в двигателях, работающих по второй схеме (рис. 6.8б), весь процесс смесеобразования и подготовка горючей смеси к сгоранию происходят внутри цилиндра. Такие двигатели называются двигателями с внутренним смесеобразованием.



- за счет увеличения степени сжатия их эффективный КПД значительно выше и достигает 42%;
- работают на тяжелых, более дешевых топливах;
- имеют большой ресурс (более долговечны).

- среднеоборотные (300...800об/мин.);

- высокооборотные (свыше 800... об/мин.);
- по степени быстроходности (средняя скорость поршня)
- тихоходные (6,5м/с);
- быстроходные (более 6,5м/с);
- по конструкции кривошипно-шатунного механизма (КШМ)
- тронковые;
- крейцкопфные;
- по принципу действия
- простого действия (рабочий цикл совершается в одной полости цилиндра)
- двойного действия (рабочий цикл совершается в двух полостях цилиндра, над и под поршнем)
- с противоположно движущимися поршнями
- по назначению
- главные (для привода судовых движителей)
- вспомогательные (для привода электрических генераторов или судовых механизмов)
- по расположению цилиндров
- вертикальные
- горизонтальные
- рядные
- двухрядные
- V-образные
- звездообразные
- по направлению вращения каленчатого вала
- правого вращения;
- левого вращения;
- реверсивные;
- по мощности, развиваемой в одном цилиндре
- малой мощности (до 800 л.с.);
- средней мощности (до 5000 л.с.);
- большой мощности (свыше 5000 л.с.);

Литература

https://ru.wikipedia.org/wiki/Двигатель_внутреннего_сгорания

Ю.Я.Фомин, А.И. Горбань, В.В. Добровольский и др. Ленинград. Судостроение 1989г. Судовые двигатели внутреннего сгорания.

В.И.Самсонов, Н.И.Худов. Двигатели внутреннего сгорания морских судов Москва. Транспорт 1990г.